



TITLE:

# Dynamic Evolution of Explosive Events on the Sun: Diagnostics Using H $\alpha$ Observations( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Cabezas, Huaman Denis Pavel

---

CITATION:

Cabezas, Huaman Denis Pavel. Dynamic Evolution of Explosive Events on the Sun: Diagnostics Using H $\alpha$  Observations. 京都大学, 2020, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22254>

RIGHT:

許諾条件により本文は2021-03-22に公開

( 続紙 1 )

京都大学	博 士（理 学）	氏名	Denis Pavel Cabezas Huamán
論文題目	Dynamic Evolution of Explosive Events on the Sun: Diagnostics Using H $\alpha$ Observations (太陽噴出現象のダイナミックな発展：H $\alpha$ 線観測に基づく診断)		
(論文内容の要旨)			
<p>太陽大気で発生する爆発現象（フレア）や、フィラメント噴出、コロナ質量放出（CME）などの噴出現象が、磁力線のつながり替え（磁気リコネクション）によるエネルギー解放によるものであるという描像が、過去数十年にわたる観測的・理論的研究により確かなものとなってきた。しかし、近年の太陽観測データの向上に伴い、エネルギー解放機構やその後のダイナミクスを、観測的な立場からさらに詳細に理解・検証する必要性が高まっている。特に、これらの現象は宇宙天気現象の主要な擾乱源となるため、地球への影響の有無やその強度を推定するために、視線方向および視線に垂直な面内の速度場、つまり3次元の速度場を正しく導出することが必要である。本博士論文では、水素H<math>\alpha</math>線（656.2nm）の複数の波長点での撮像観測から速度場などの物理量の導出を行うことで、定量的に太陽噴出現象のダイナミクスを探った。</p> <p>第2章は、2011年2月16日に発生したフィラメント噴出について、ペルー・イカ大学のフレア監視望遠鏡（FMT）で観測されたH<math>\alpha</math>線データの詳細解析の結果を報告する。観測データに対して「クラウド（雲）モデル」を仮定することで、噴出したフィラメントの3次元速度場を導出することに成功した。また、人工衛星による極端紫外線画像で検出されたコロナ中の衝撃波面との比較を行い、導出された3次元速度場の前面に衝撃波が伝搬していくことを明らかにした。</p> <p>第3章では、2014年3月29日に発生した太陽フレアに伴うモートン波と呼ばれる現象の詳細解析の結果が報告されている。モートン波は、フレアに伴い発生した衝撃波面がコロナ中を伝播する際、下層の彩層と接する面だと理解されている。本論文では、FMTによるH<math>\alpha</math>線<math>\pm 0.8\text{\AA}</math>画像の解析から、彩層におけるモートン波波面の速度場を導出することに成功した。また、SDO（Solar Dynamics Observatory）衛星の紫外線画像データを解析してコロナにおける衝撃波の強さを評価、電磁流体衝撃波モデルに基づいて衝撃波面で彩層プラズマが圧縮される度合いを推定し、これと観測データから定量的に導出された波面の彩層速度場とを比較することで、モートン波の理論的モデルをはじめて定量的な観点から検証した。</p> <p>第4章では、2017年4月23日に発生した高速フィラメント噴出について、京都大学飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡（SMART）に搭載された全面像速度場撮像装置SDDIによるH<math>\alpha</math>線観測データの解析結果を報告した。SDDIでは、H<math>\alpha</math>線を73の波長点で全面観測しており、より詳細・精密に速度・密度の見積もりが可能となっている。本論文では、クラウドモデルを仮定することで、フィラメントの3次元速度場および密度の時間変化を詳細に追跡した。またこれにより、フィラメント噴出の運動エネルギーを定量的に見積もることに成功した。</p> <p>以上、本論文では、H<math>\alpha</math>線の複数の波長点で撮像観測で得られた線輪郭をクラウドモデルで再現することより、速度場などの物理量の導出を行い、太陽噴出現象のダイナミクスの定量的な評価をおこなうことに成功した。そして、地球への影響の有無やその強度を推定するために、視線方向および視線に垂直な面内の速度場、つまり3次元の速度場を正しく導出することの重要性を示した。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

太陽面で発生するフレアやプロミネンス噴出といった爆発現象は、太陽大気に大規模な擾乱を引き起こし、時にはコロナの質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) となって地球を取り巻く宇宙環境、ひいては現在の社会インフラに甚大な影響を及ぼすことが知られている。しかしその発生メカニズムや発展過程については未知の部分が多く残されており、「宇宙天気予報」および宇宙磁気プラズマの基礎過程の解明、という観点から、重要な研究テーマとなっている。本論文は2013年に稼働を開始したペルー国イカ大学の太陽フレア監視望遠鏡 (FMT) を用いた初めての科学成果である査読論文2編と、2016年に稼働を開始した京都大学飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) の太陽速度場観測装置 (Solar Dynamics Doppler Imager; SDDI) を用いた噴出現象の詳細解析の報告からなっている。

まず注目するのはフレア爆発に伴って発生する質量噴出と大規模なコロナ波動現象である。本論文第2章では、FMTによって観測された $H\alpha$  線 (656.2nm) 内複数波長の画像から、噴出するガスの3次元速度ベクトルを決定し、さらに遠方にあるフィラメント (プロミネンス ( $H\alpha$  線でみられるコロナ中に浮かんだ低温プラズマ) の振動、および、人工衛星による紫外線画像を解析して、その噴出方向の前方にコロナ衝撃波が伝搬することを明らかにした。質量噴出とコロナ中衝撃波の励起との関係を示したという点で注目に値する。

次に注目するのはモートン波と呼ばれる、フレア爆発に伴って発生する大規模な波動現象である。これは水素の $H\alpha$  線で太陽の彩層を観測したときにみられ、フレアを起点として500km/sを超えるスピードで伝搬する波動であり、その速度の大きさからコロナ中を伝搬する衝撃波面が彩層と接するところであると解釈されている。第3章ではFMTの多波長観測を生かしてモートン波における彩層の速度場を導出した。その結果、波面の通過に伴ってまず彩層には数km/sの下降運動が発生し、次にそれが上方運動に転じることを明らかにした。さらに人工衛星による紫外線画像を解析してコロナにおける衝撃波の強度を評価し、これが彩層に侵入するときのダイナミクスを電磁流体衝撃波の理論を用いて考察することで、観測された彩層の運動がコロナ衝撃波の強度と定量的にも整合していることを明らかにした。この成果は、モートン波という現象を、彩層とコロナを含む全系の波動現象として統一的に、且つ世界ではじめて解明したものとして、非常に意義の高いものである。

最後に飛騨天文台SDDIによる高速噴出現象の解析結果を報告している。SDDIは $H\alpha$  線を含む広い波長範囲を短時間で画像観測し、噴出プラズマの非常に速い視線方向の運動 ( $\pm 400$ km/s) を検出できる世界でもユニークな装置である。第4章では、SDDIの特徴を最大限に生かし、高速フィラメント噴出の運動を詳細解析した。その結果、噴出後約10分で視線方向速度150km/s、見かけの速度350km/sに達することを明らかにした。さらに、噴出フィラメントを上空に浮かんだ様な吸収体とする「クラウドモデル」を使って観測された $H\alpha$  線の波長輪郭を解析することで、フィラメントの密度および運動・位置エネルギーを時間の関数として導出した。このことは、今後噴出現象の電磁流体数値モデルと比較することで、噴出の加速メカニズムの解明に繋がる重要な成果である。

以上のように、本博士論文は近年稼働を開始した $H\alpha$  線多波長画像観測から、太陽面爆発現象に伴う彩層および噴出プラズマの3次元速度を導出する手法を駆使することにより、モートン波の統一的な描像を提示したのみならず、宇宙天気研究における太陽観測研究の今後の方向性を示した点でも大きな意義がある。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成2年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：            年            月            日以降